УДК 596:591.485:576.12

Б. В. Солуха

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЗВУКОПЕРЕДАЮЩЕГО АППАРАТА НЕКОТОРЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ

При изучении эволюции слухового анализатора необходимы сведения о функциональных отношениях его элементов, которые можно получить, привлекая биоакустические методики. Основы биоакустических измерений изложены в монографии Е. В. Романенко (1974) и предлагаемый нами метод исследования звукопередающего аппарата основан на этой работе. Непосредственная задача исследования — измерение амплитудно-частотных характеристик звукопередачи с поверхности тела позвоночных животных во внутреннее ухо. Для этого необходимо измерить уровень акустических колебаний во внутреннем ухе при тактильной стимуляции неизмененными по уровню акустическими колебаниями различных частот. Стимуляция должна осуществляться в различных точках тела животного.

Измерение уровня колебаний жидкости внутреннего уха в ответ на акустическую стимуляцию осуществляли с помощью миниатюрного (объемом не более 1,5 мм^3) пьезоэлектрического датчика, изготовленного по методике, предложенной Е. В. Романенко (1974). У различных позвоночных метод введения датчика отличается незначительными модификациями. Измерения проводили на карпе (*Cyprinus carpio* L.), серебрянном карасе (*Carassius auratus* L.), квакше обыкновенной (*Hyla arborea* L.), лягушке озерной (*Rana ridibunda* Pall.), жерлянке желтобрюхой (*Bombina variegata* L.), саламандре пятнистой (*Salamandra salamandra* L.), тритоне обыкновенном (*Triturus vulgaris* L.), ящерице прыткой (*Lacerta agilis* L.) и афалине (*Tursiops truncatus* Mont.). Наиболее проста установка датчика в саккулюс низших позвоночных. Например, при введении датчика в саккулюс настоящих лягушек, животное укрепляли брюшком кверху с отведенной назад нижней челюстью. С нёба удаляли участок слизистой оболочки площадью не более 4 мм^2. Бормашиной в хрящевой части клиновидной кости высверливали отверстие, в которое вводили датчик. Отверстие с входящим экранированным кабелем диаметром около 1 мм заливали клейкой массой. Карпообразных, при тактильной стимуляции на воздухе, укрепляли в вертикальном положении. Удаляли часть жаберной крышки площадью 5—10 мм^2 в месте проекции слуховой капсулы на поверхность тела и высверливали бормашиной отверстие для датчика. У ящерицы прыткой наиболее удобным является подход через покровные кости черепа. Эксперименты на афалине описаны ранее (Солуха, Мантуло, 1973).

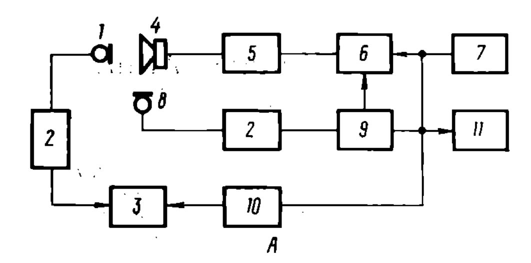
С датчика (рис. 1, *1*) электрический сигнал по кабелю поступает на транзисторный усилитель (собственная разработка) с входным сопротивлением более 200 МОм, полосой пропускания 0,1 гц — 200 кгц и приведенным уровнем шумов в этой полосе менее 50 мкв. Усиленный сигнал записывается на самописце уровня Н=110 в логарифмическом масштабе (рис. 1, *3*). С помощью того же датчика периодически регистрировали кардиограмму, контролируя состояние животного.

Тактильную стимуляцию производили магнитострикционным излучателем, регулируя при этом степень прижатия к телу животного рабочей поверхности излучателя диаметром 3 мм. Точки стимуляции (черепной свод, нижнечелюстные структуры, мезоподий и т. п.) определяли в соответствии с проверяемой гипотезой звукопередачи. Дистантную стимуляцию производили пьезоэлектрическим или электродинамическим излучателем. Уровень давления, создаваемого излучателями, при этом не превышал 80 дб (относительно уровня $2 \cdot 10^{-4}$ дин/см^2).

После проверки ряда излучателей выяснилось, что их частотная характеристика является весьма неравномерной в широкой полосе частот (рис. 1, *а*) и при тактильной стимуляции определяется нагрузкой, которая зависит от степени прижатия излучателя и размеров животного. Это могло вызвать существенные ошибки при измерении амплитудно-частотных характеристик звукопередачи. Для устранения данных эффектов была сконструирована (собственная разработка) система сервоуправления по аналогии с используемой при измерениях вибрационных характеристик тела человека в испытательных установках датской фирмы «Брюль и Къер» (Брох, 1973).

В системе с сервоуправлением имеется дополнительный акустический датчик (рис. 1, *8*), закрепленный на излучателе. При изменении звукового давления, создаваемого излучателем, соответственно изменяется и сигнал с дополнительного датчика,

поступающий после детектирования (рис. 1, *2*) на вход системы автоматической регулировки усиления (рис. 1, *6*). Благодаря этому напряжение на излучателе изменяется так, что создаваемое им давление сохраняется практически неизменным (рис. 1, *б*). Неравномерность частотной характеристики по давлению в диапазоне частот 0,02—12 кгц составляет 6 дб для излучателя от слухового аппарата типа АК-4М, поэтому сигнал с основного датчика, введенного во внутреннее ухо, определяется только особенностями звукопередающей системы слухового анализатора.



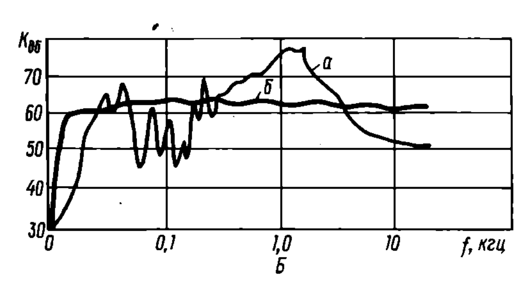
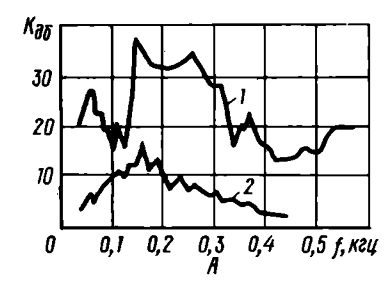


Рис. 1. Структурная схема стенда для изучения звукопередающей системы позвоночных животных (*А*) и частотные характеристики излучателя для костной проводимости от слухового аппарата АК — 4М (*Б*) с выключенной (*а*) и включенной (*б*) системой сервоуправления:

1 — акустический датчик, введенный во внутреннее ухо; *2* — предварительный усилитель; *3* — самописец уровня; *4* — излучатель; *5* — усилитель; *6* — система автоматической регулировки усиления; *7* — генератор частотномодулированных колебаний; *8* — акустический датчик системы сервоуправления; *9* — детектор; *10* — отметчик частоты; *11* — частотомер.

На вход системы сервоуправления с генератора (рис. 1, 7) подаются линейноизменяющиеся по частоте от 0,01 до 200 кгц гармонические колебания. Поэтому на самописце (рис. 1, *3*) регистрируется зависимость уровня колебаний жидкости внутреннего уха от частоты, т. е. амплитудно-частотная характеристика звукопередачи. Динамиче-



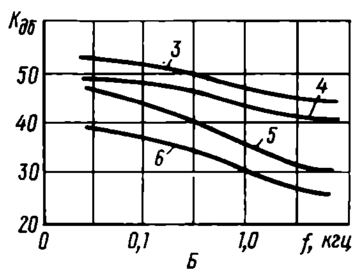


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики звукопередачи, полученные при тактильной стимуляции и воздушной среде:

А — дистальной части контрлатеральной передней конечности саламандры пятнистой в норме (1) и с удаленной на протяжении 10 мм костью предплечья (график представляет результат единичного измерения); *Б* — дистальных концов верхней (*3*) и нижней (*4*) челюсти, запястья ипсилатеральной (*5*) и контрлатеральной (*6*) конечности ящерицы прыткой (график представляет результат усреднения по 7 особям).

ский диапазон метода, определяемый уровнем побочной передачи через звукоизолирующую подставку с животным, составляет более 45 дб.

В стенде предусмотрена калибровка записи амплитудно-частотной характеристики по частоте. Частотно-модулированное напряжение с генератора (рис. 1, *7*) подается на вход отметчика частоты (рис. 1, *10*), представляющего собой набор полосовых фильтров с пороговым устройством (центральные частоты фильтров составляют 0,5; 5; 50 кгц и полосы пропускания, соответственно 0,03; 0,25; 2 кгц). Как только сигнал попадает в полосу пропускания фильтра, на вход самописца подается импульс отметки частоты.

Таким образом, описанный метод позволяет автоматически записывать в широком диапазоне частот и интенсивностей зависимости затухания в звукопередающей системе слухового анализатора ряда позвоночных животных от частоты стимулирующего сигнала. В качестве примера конкретных измерений приведена амплитудно-частотная характеристика звукопередачи через переднюю конечность саламандры пятнистой (рис. 2, *А*). Удаление части костной структуры вызывает существенное ухудшение звукопередачи (рис. 2, *2*). Для получения зависимостей на видовом уровне необходимо усреднение амплитудно-частотных характеристик по набору особей данного вида. Пример усредненных характеристик звукопередачи через ряд структур у ящерицы прыткой приведен на рис. 2, *Б*.

Внутривидовые и межвидовые сравнения характеристик звукопередачи удобно проводить с помощью t распределения Стьюдента. Например, согласно этому критерию, затухание на частоте 1 кгц при звукопередаче через дистальный конец нижней челюсти (рис. 2, *4*) и ипсилатеральную переднюю конечность (рис. 2, *5*) отличается на 7 дб, при достоверности различий 0,99.

ЛИТЕРАТУРА

Брох Е. Т. Применение измерительных систем фирмы «Брюль и Кьер» для измерения механических колебаний и ударов. Дания. 1973, с. 196—203.

Романенко Е. В. Физические основы биоакустики. М., «Наука», 1974, с. 39—42.

Солуха Б. В., Мантуло А. П. Механизмы звукопередачи у дельфинов. В кн.: Некоторые вопросы экологии и морфологии животных. К., «Наукова думка», 1973, с. 53—55.

Институт зоологии
АН УССР

Поступила в редакцию
25.II 1975 г.

B. V. Solukha

METHOD FOR STUDYING SOUND TRANSMITTING APPARATUS IN SOME VERTEBRATES

Summary

A method is described for measuring automatically the dependence of sound oscillations damping in the body tissues on the stimulus frequency. The method permits obtaining quantitative estimates of interspecies differences of sound transmission in vertebrates.

Institute of Zoology, Academy of Sciences,
Ukrainian SSR